

УДК 548.1:533.9

ПОВЕРХНОСТНЫЕ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫЕ ЭФФЕКТЫ В ПРОСТРАНСТВЕННО - НЕОДНОРОДНЫХ СТРУКТУРАХ

В.Г. Кириченко¹, В.И. Ткаченко^{1,2}

¹ Харьковский национальный университет имени В.Н. Каразина, Институт высоких технологий
61108, г. Харьков, пр. Курчатова, 31

E-mail: kirichenko@pht.univer.kharkov.ua

² Национальный научный центр «Харьковский физико-технический институт»
61108, г. Харьков, ул. Академическая, 1

E-mail: tkachenko@kipt.kharkov.ua

Поступила в редакцию 20 октября 2010 г.

Представлены результаты исследования процессов формирования электрических потенциалов и токов на поверхности многоострых неоднородных биологических структур, которые можно использовать как биотемплаты. Перенос заряда характеризуется зависимостью от приложенного высоковольтного напряжения и магнитного поля. Возможно, наблюдаемые зависимости индуцированных потенциалов и токов связаны с особенностями формирования структуры объектов и определяют характеристики и эффективность их функционирования. Топологические особенности пространственно-неоднородной структуры поверхности крыльев могут приводить к появлению слабых электромагнитных полей, взаимодействующих с магнитным полем Земли.

КЛЮЧЕВЫЕ СЛОВА: электропроводность, биотемплаты, поверхность, неоднородность, электрическое и магнитное поле

THE SURFACE ELECTROMAGNETIC EFFECTS IN SPACE – INHOMOGENEOUS STRUCTURES

V.G. Kirichenko¹, V.I. Tkachenko^{1,2}

¹ Kharkov Karazin National University, High Technology Institute
31 Kurchatov St., Kharkov, 61108, Ukraine

² National Science Center "Kharkiv Institute of Physics and Technology"
1, Akademicheskaya St., Kharkov, Ukraine

The results of investigation of electrical potentials and currents formation processes on the many sharp edges surface of inhomogeneous biological structures which may be use as biotemplates are presented. The charge carrying is characterized by dependence from applied high voltage potential and magnetic field. Possibly observed dependences of induced potentials and currents are connected with formation features of biological object's structures and they are determined their characteristics and effectiveness of functioning. The topological features of space – inhomogeneous structures of surface wings may be lead to the appearance of weak electromagnetic fields which interact with magnetic field of Earth.

KEY WORDS: electrical conductance, biotemplates, surface, inhomogeneity, electrical and magnetic field

ПОВЕРХНІВІ ЕЛЕКТРОМАГНІТНІ ЕФЕКТИ В ПРОСТОРОВО-НЕОДНОРІДНИХ СТРУКТУРАХ

В.Г. Кіріченко¹, В.І. Ткаченко^{1,2}

Харківський національний університет ім. В.Н. Каразіна, Інститут високих технологій
61108, м. Харків, пр. Курчатова, 31

² Національний науковий центр «Харківський фізико-технічний інститут»
61108, м. Харків, вул. Академічна, 1

Представлені результати дослідження процесів формування електричних потенціалів і струмів на поверхні багатоострих неоднорідних біологічних структур, які можливо використовувати в якості біотемплатів. Перенос заряду характеризується залежністю від прикладеної високовольтної напруги і магнітного поля. Вірогідно, залежності індукованих потенціалів і струмів, які спостерігаються, пов'язані з особливостями формування біологічних структур об'єктів і визначають характеристики та ефективність їх функціонування. Топологічна особливість просторово-неоднорідних структур поверхні крил може приводити до появи слабких електромагнітних полів, які взаємодіють з магнітним полем Землі.

КЛЮЧОВІ СЛОВА: електропровідність, біотемплати, поверхня, неоднорідність, електричне і магнітне поле.

Неоднородные биологические структуры отличаются большим разнообразием свойств, воспроизведение которых представляет значительную техническую проблему. Использование биологических объектов как матриц – биотемплатов- применяется для получения различных материалов (метод биомиметики) [1] в числе других методов нанотехнологий [2, 3]. Это доступный и дешевый метод получения наноструктур.

В качестве примера таких наноструктур приведем упорядоченную систему нановыступов на крыльях цикады (рис.1) [1]. Прозрачная поверхность крыла представляет собой гексагонально упакованную систему нановыступов (см. вставку на рис. 1.), причем расстояние между выступами приблизительно равно 190 нм. Длина выступа составляет 400 нм, толщина уменьшается от 150 нм у основания до 65 нм на вершине. Образование и существование электрических и магнитных полей в таких структурах может быть объяснено различными физико-химическими процессами, протекающими в живых организмах. Источниками электрических полей в организмах могут служить ионные токи, возникающие вследствие электрической

активности клеточных мембран и создающие электрические потенциалы на поверхности [4, 5]. Источниками собственного магнитного поля организма могут быть ферромагнитные микрочастицы в организме, а также неоднородности магнитной восприимчивости различных органов, проявляющие себя при наложении внешнего магнитного поля в виде магнитного отклика [6]. Кроме отмеченных выше источников собственного магнитного поля, таковыми могут быть также потоки биологической жидкости, содержащей, например, ионы железа в составе гемоглобина крови, который вызывает переменный магнитный сигнал, сопровождающийся импульсом тока.

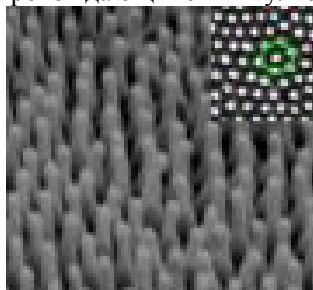


Рис.1. Наноструктура крыла цикады

Считается, что в случае ферромагнитных микрочастиц и магнитного отклика электрические поля не возникают. Структура источника тока в электропроводящей среде живых организмов и неоднородности этой среды влияют на распределение электрических и магнитных полей. Необходимо отметить, что области фиксации электродов при регистрации потенциалов могут быть источниками контактных потенциалов. Использование контактов из различных материалов дает специфические контактные потенциалы, которые могут дать полезную информацию об электрических полях исследуемых объектов. Поверхностные потенциалы дают слабые токи. Так, например, обнаружены постоянные токи, появляющиеся на поверхности при взаимодействии с хитиновым покровом. Глазные ткани являются источником разности потенциалов величиной до 0,01 В, которая также дает слабые токи.

Мозг живого организма характеризуется наличием токовых диполей с временем распространения моторных импульсов порядка 0,1 с и величиной диполя определяемой как произведение плотности тока на его активный объем. Такие электромагнитные явления (магниторецепция) происходят на фоне слабого магнитного поля Земли и, как считается, взаимодействие с ним является незначительным. Существуют факты, подтверждающие это явление. Так, например, направление силовых линий магнитного поля Земли и величина его напряженности влияют на различные реакции ориентации у пчел, термитов, мух и жуков, а также способствуют определению азимута при ночных перелетах зарянкой (*Erithacus rubecula*).

Также хорошо известно [5], что электрические органы некоторых рыб являются своеобразным производным поперечнополосатых мышц, которые состоят из видоизмененных мышечных волокон – электрических пластинок с асимметричной структурой. В состоянии покоя разность потенциалов на мембране волокон составляет 84 мВ (с отрицательным знаком внутри). В состоянии возбуждения возникает однонаправленная разность потенциалов величиной 151 мВ. Так, у электрического угря (*Electrophorus*) последовательно соединено 6000 пластинок, которые дают суммарную разность потенциалов 900 В.

Пространственные неоднородные структуры (ПНС) в биологических объектах и живых организмах достаточно многообразны. Можно оценить параметры процессов изменения структуры при импульсном быстром воздействии, например, при лазерном отжиге. Так, эффективный коэффициент диффузии, условно описывающий процесс перемещения элементов ПНС в виде щеточки, приблизительно равен $2,5 \cdot 10^{-9} \text{ см}^2/\text{с}$. Такие высокие значения подвижности структур характерны для миграции включений, в том числе макровключений с характерными размерами порядка 1 мкм в неметаллических твердых телах. Древесные сверчки (*Nemobius sylvestris*) обнаруживают объекты на значительном расстоянии регистрируя внешние механические колебания и являются наиболее чувствительными звуковыми датчиками в природе.

При переходе от биологических структур к системам неорганического происхождения было обнаружено, что при фазовых переходах в различных физико-химических системах возникает электромагнитное излучение. Это происходит, например, при кристаллизации воды, в результате чего появляется импульсное радиоизлучение. При структурообразовании некоторых коллоидных систем возникает низкочастотный переменный ток, источником которого являются колебания электрического потенциала на границе раздела фаз [4]. Важную роль в формировании таких потенциалов в водных растворах при фазовых превращениях играет вода, как кооперативная система. Вода трансформируется при понижении температуры в твердое тело с водородной связью, которая характеризуется уникальностью атомов водорода: ионный остаток атома водорода представляет собой протон. Водороду не хватает 1 электрона до конфигурации He, а первый ионизационный потенциал водорода высок (13, 59 эВ). Это проявляется в нерегулярности положений протона относительно иона кислорода в структуре льда, что ведет к большой остаточной энтропии льда благодаря большому числу разных способов размещения протонов на концах каждой из связей [7].

Таким образом, несмотря на наличие реальных потенциалов в неоднородных биологических структурах различной природы и функционального назначения с разнообразным характером их формирования, не выяснена роль неоднородных поверхностных многоострижных структур в возможном появлении электрических и магнитных полей, токов и потенциалов на поверхности биотемплатов.

Целью данной работы являлось экспериментальное исследование возможности существования в поверхностных неоднородных биологических структурах туннельных токов и электрических потенциалов, возникающих при внешнем электрическом и магнитном воздействии.

МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Для экспериментальных исследований существования туннельных токов в поверхностных неоднородных средах и структурах использовались крылья мухи комнатной (*musca domestica*), мухи большой, шмеля обыкновенного, осы украинской. Поверхностная структура участка крыла мухи комнатной приведена на рис. 2.

С электрической точки зрения крылья показали себя непроводящими объектами, на которых при внешнем электрическом воздействии наводится отрицательный электрический заряд. Ввиду малой массы и вследствие этого малой электрической активности организма насекомых при экспериментальном исследовании электрических свойств материала крыльев насекомых в работе использовали косвенный метод анализа электропроводности. Такой непрямой метод заключался в следующем. На участок крыла нижней его стороны через токовый электрод подавался постоянный электрический потенциал отрицательной полярности величиной (0,9 – 2,5 кВ), а на противоположной (верхней) стороне с помощью потенциальных электродов регистрировались токи и потенциалы, образующиеся на поверхности крыла, обладающего многоостриной хитиновой структурой (рис.2). Для измерений использовались медные и алюминиевые электроды с механическим креплением на поверхности крыла. В качестве непроводящей и изолирующей подложки использовали тефлоновую пленку. Тефлон (фторопласт-4) характерен тем, что на его поверхности практически не образуется наведенный электростатический заряд [8]. Это позволяет использовать тефлон во многих экспериментальных устройствах. Паразитные эффекты в них могут возникать за счет накопления заряда и поляризации, например, в детекторах заряженных частиц, в частности в мессбауэровских детекторах конверсионных электронов [9].

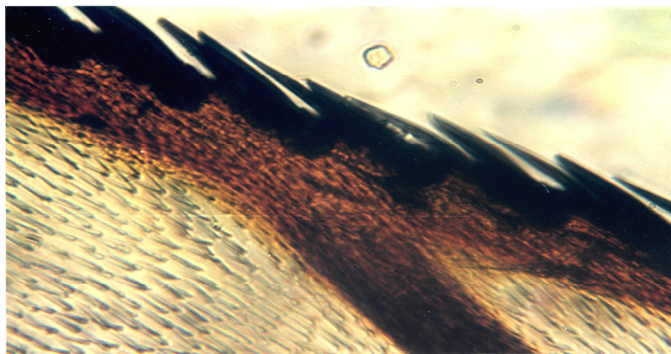


Рис. 2. Микрофотография поверхности биотемплата – участка крыла мухи комнатной (*musca domestica*).
Фото представлено А.А. Николаенко

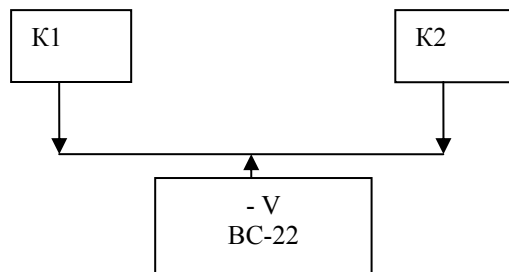


Рис. 3. Схема измерения индуцированных потенциалов на биотемплате (линия) с помощью контактов K1 и K2 при приложении потенциала $-V$ с обратной стороны

Принципиальная схема измерений была стандартной и приведена на рис. 3. Для создания высоковольтного потенциала использовали источник питания ВС-22 (высокостабилизированный), комбинированный измеритель тока и напряжения. К биотемплатам прилагали внешнее постоянное магнитное поле. В качестве биотемплатов использовали поверхность крыльев мухи обыкновенной, мухи большой, шмеля обыкновенного, осы украинской. Были проведены экспериментальные исследования проводимости поверхности биотемплатов крыла, возникающей под влиянием внешнего высоковольтного воздействия.

РЕЗУЛЬТАТЫ И ОБСУЖДЕНИЕ

В результате экспериментальных исследований было установлено, что в естественных биологических пространственно- неоднородных структурах (ПНС) – исходных естественных биотемплатах при косвенном высоковольтном воздействии наблюдаются явления электрического переноса по поверхности исследованных структур. В этом убеждают следующие факты.

Электроперенос, т.е. движение электронов в присутствии принудительного высокополевого электрического воздействия наиболее эффективно осуществляется в объектах (биотемплатах крыльев) не претерпевших значительной потери влаги, т.е. значительной потери гемолимфы. Это означает, что после высыхания крылья в основном теряют функцию электропереноса, в результате чего при повышении напряжения наблюдается электрический пробой материала крыла. Значения потенциалов на поверхности приведены на рис.4. Приложение поперечного перпендикулярного относительно поверхности магнитного поля приводит к значительному увеличению образующегося потенциала (рис.5).

Значения потенциалов, полученных как без приложения магнитного поля, так и в магнитном поле (рис.4, 5), а также значения токов, полученных при анализе вольт - амперных характеристик (рис.6, 7) значительно флуктуируют при приложении внешнего электрического поля в зависимости от времени регистрации. Наблюдается гистерезис эффекта электропереноса, проявляющийся в повышении исходного наведенного потенциала при возврате к исходному значению задающего высоковольтного потенциала. Также малые токи (микроамперы) наблюдаются при использовании алюминиевых контактов вследствие наличия на поверхности алюминия оксидной изолирующей пленки толщиной 50 Å. (рис.6). При использовании медных контактов ток увеличивается на три порядка величины (рис.7).

В некоторых структурах с выраженными критериями неоднородности наблюдается удвоение сигнала при

использовании для электропереноса обеих поверхностей крыла по сравнению с одной поверхностью. На поверхности крыльев наблюдаются потенциалы отрицательной полярности, распределенные в направлении от начала крыла до окончания по направлению циркуляции гемолимфы, проявляющие слабый гистерезис (рис.9).

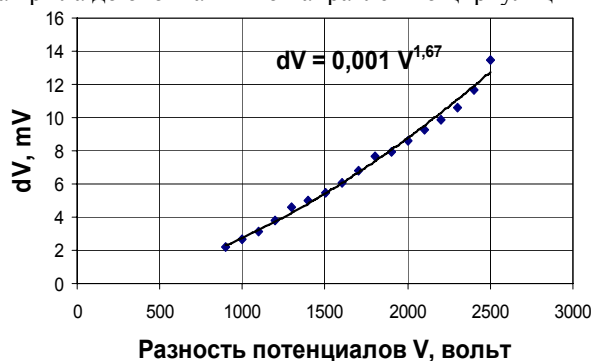


Рис.4. Зависимость наведенного потенциала от высоковольтного потенциала

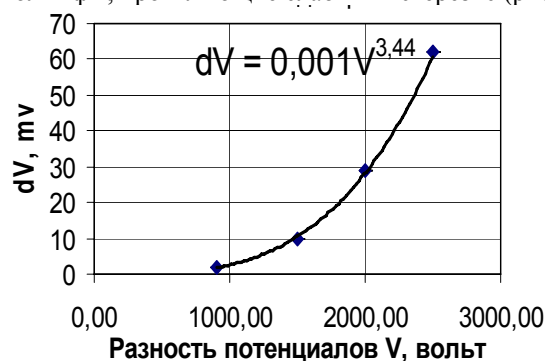


Рис.5. Зависимость наведенного потенциала от высоковольтного потенциала в магнитном поле

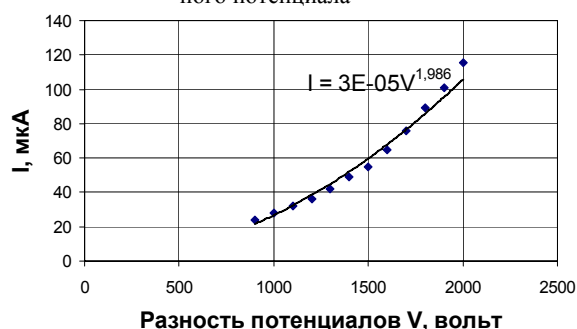


Рис.6. Зависимость тока по поверхности биотемплата от высоковольтного потенциала для алюминиевых контактов

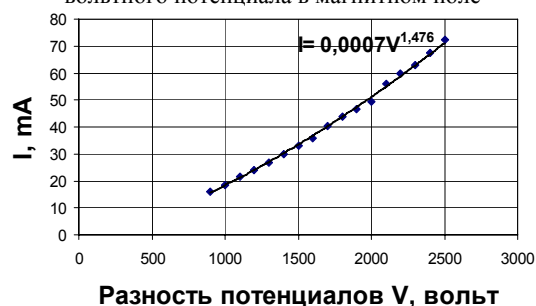


Рис.7. Зависимость тока по поверхности биотемплата от высоковольтного потенциала для медных контактов

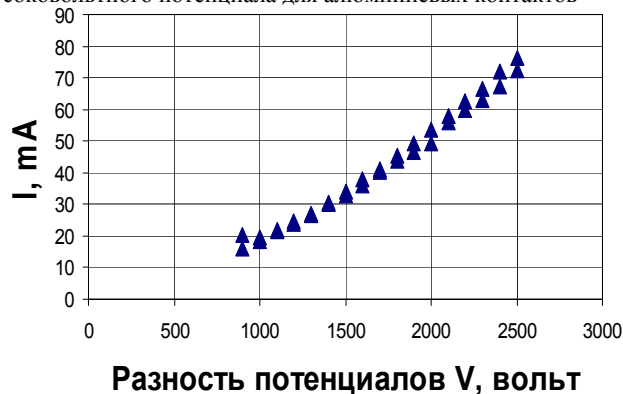


Рис. 8. Вольт-амперные характеристики, демонстрирующие гистерезис, верхняя кривая – обратный ход

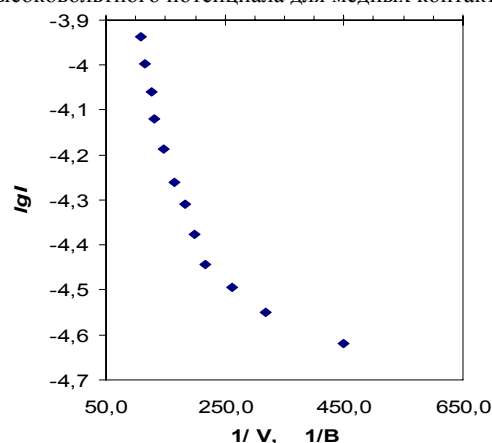


Рис. 9. Вольт – амперная характеристика биотемплата в координатах $(\lg I - 1/U)$ по данным рис. 4, 6

Движение электронных потоков в ПНС тонкопленочного типа и соответствующая продольная проводимость вдоль поверхности раздела подложка – пленка - ПНС рассматривались неоднократно (см., например, [10]), но единого мнения по этому вопросу до сих пор нет. Одним из механизмов электропереноса в структурах типа ПНС может быть электронное туннелирование, примером чего является холодная эмиссия из некоторой точки металла в вакуум, которая в случае пробоя не контролируется [11]. В таких многоострийных системах, металлических или полупроводниковых, используется основное свойство - высокая эмиссия и, соответственно, значительный электроперенос в продольном направлении (перпендикулярном поверхности многоострийной структуры). Отметим, что использование или реализация механизма туннелирования электронов в многоострийных металлических или полупроводниковых структурах наталкивается на серьезное препятствие – малые времена релаксации в электронных подсистемах этих типов твердых тел – $10^{-13} - 10^{-10}$ с. В диэлектриках, например, в оксиде железа эти времена могут возрастать до 10^{-7} с [12]. В связи с этим, можно предположить, что появление поверхностных потенциалов и слабых нестабильных токов в исследованных ПНС биологического типа может быть связано с увеличением времени релаксации электронной подсистемы до долей секунды.

Косвенно, это предположение подтверждается длительным временем (несколько секунд) спада заряда на

поверхности крыла. Не исключено, что этот эффект связан с объемной поляризацией материала крыла. Следует отметить, что при аналогичных обстоятельствах для других диэлектрических материалов этот эффект не наблюдается. На рис.9 представлены характеристики Фаулера-Нордгейма в координатах $(\lg I - 1/U)$, построенные на основе результатов рис. 4, 6.

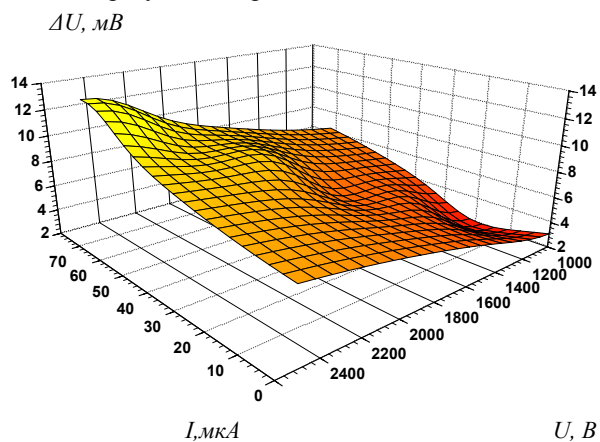


Рис.10. 3D вольтамперная диаграмма биотемплата

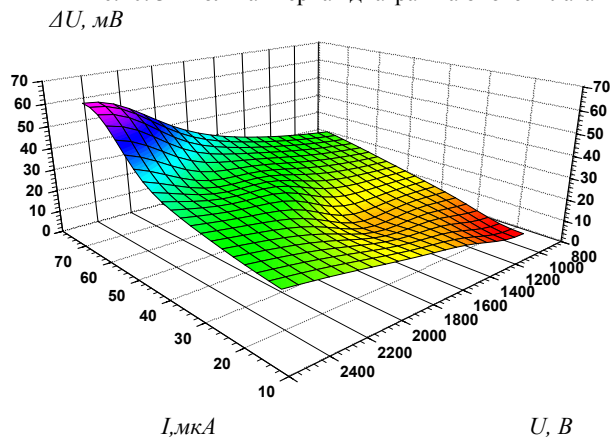


Рис. 11. 3D вольтамперная диаграмма биотемплата в магнитном поле

Видно, что наклон характеристик существенно изменяется, при переходе из области малых значений наведенного потенциала в область более высоких его значений. Отсутствие выхода кривых на плато говорит об отсутствии эффектов насыщения, обычно связанных с формированием пространственного заряда. В [13] сделана попытка видоизменить одноэлектронное приближение (в рамках которого часто рассматривают автоэмиссионные процессы) с учетом взаимодействия между квазичастицами – электронами. Это требует привлечения многочастичной модели туннелирования и является сложной экспериментальной задачей. При анализе экспериментальных проявлений многочастичных эффектов в автоэлектронной эмиссии отмечалось существенное отклонение полученных кривых от предсказаний одночастичной модели Фаулера-Нордгейма в области как высоких, так и низких энергий электронов. Кроме того, наблюдалось появление высокоэнергетических хвостов распределения, протяженность которых зависела от напряженности электрического поля. Было показано, что ток высокоэнергетической области пропорционален квадрату полного тока эмиссии, т.е. при построении характеристик Фаулера-Нордгейма в координатах $(\lg I - 1/U)$, следует ожидать изменения наклона полученных прямолинейных зависимостей. При этом коэффициент наклона может изменяться от 1 до 2. В нашем случае наклон при повышении высоковольтного внешнего воздействия возрастает. При этом коэффициент наклона увеличивается в приведенных координатах от 0,83 до 1,95 в координатах $\ln V - 1/T$. Это говорит о значительном изменении ха-

рактера электропереноса при увеличении потенциала.

Влияние постоянного магнитного поля на индуцированный на поверхности биотемплата потенциал сводится к увеличению значения этих потенциалов как показано на рис. 9 и 10 симбатно увеличению поверхностных токов. Значения потенциала монотонным образом возрастают примерно в 5 раз при значении поля 100 мТ и сопоставимых значениях внешнего электростатического поля и поверхностных токов.

Возможно, такое изменение наклона кривых действительно связано с проявлением многочастичных эффектов при поверхностном электропереносе (или вероятном туннелировании электронов) в органических материалах типа хитина с пространственной неоднородной структурой.

Многочастичные эффекты в электронной подсистеме при распространении электронов в твердых телах проявляются, в частности, как в теории и практике «классической» сверхпроводимости на основе теории БКШ [14, 15], так и в высокотемпературной сверхпроводимости. В теории БКШ существенным критерием явления сверхпроводимости является видоизменение типа статистики электронов и уравнения переноса. В исследованных системах, зарегистрированное при повышении электрического потенциала изменение наклона характеристик, связанное с обнаружением многочастичных взаимодействий, возможно, коррелирует с большим временем релаксации электронов, изменением скорости носителей заряда и динамики движения электронов в низкоразмерных системах. В отличие от исследованных планарных систем с НПС, такая многочастичная корреляционная зависимость не имеет большого значения в автоэмиссионных экспериментах в геометрии нормального к поверхности распространения электронных пучков.

Однако, в условиях больших времен релаксации электронов, возбужденных косвенным электрическим воздействием в НПС может реализоваться механизм многочастичной проводимости в планарных многоострийных биологических структурах. Кроме того, известно, что туннельные переходы обладают гистерезисной вольт-амперной характеристикой, что в нашем случае проявляется в наличии слабого гистерезиса при регистрации характеристик исследованных структур, как показано на рис.8.

Описанные выше два примера характерны наличием в обоих случаях как ПНС с развитой микро- или на-

ноструктурой, так и наличием необходимого внешнего воздействия. Подобные ПНС существуют на крыльях бабочек - мельчайшие чешуйки, которые представляют собой видоизмененные в процессе эволюции волоски (с хитиновой внешней оболочкой), уложенные правильными рядами, наподобие атомных рядов на поверхности твердого тела, и которые при полете формируют расположенные в шахматном порядке вихри [16]. Возможно, к образованию вихрей причастна и структура поверхности крыльев: у бабочек - мозаичная, чешуйчатая, у мух - покрытая микроостриями [17, 18].

Приведенные примеры природных ПНС характеризуются наличием критериальных параметров структуры, характерные размеры которой составляют сотни нанометров и значительно изменяются при линейной трансляции по структуре [19]. При этом важным фактором является циркуляция жидкости в мозаичных чешуйках и в микроостриях на поверхности крыльев, причиной циркуляции которой является ток гемолимфы между грудью и брюшком. Циркуляция гемолимфы направлена от основания крыльев к их концам и может приводить к образованию электрических потенциалов и токов на поверхности крыльев с максимальной напряженностью электрического поля на микроостриях, в особенности на их вершинах. Появление таких потенциалов на поверхности крыльев может сказаться на полете насекомых, особенно в фазе порхания, наименее изученной фазы полета, в отличие от фазы планирования, вследствие сложности структуры течения потока воздуха около крыла. Жилки крыльев насекомых служат как элементом конструкции крыла, обеспечивающим упругость и механическую прочность крыла, так и элементом, ответственным за транспортировку гемолимфы по крылу. Такие функциональные особенности оказываются важными при анализе электрических свойств крыльев насекомых. Одной из возможных причин более высокой эффективности полета насекомых с характерными неоднородными пространственными структурами на поверхности крыльев может быть существование малых незатухающих токов на поверхности крыльев за счет слабых потенциалов в верхней части острий ПНС. Эти токи могут взаимодействовать с магнитным полем Земли, подобно поверхностным незатухающим токам в идеальных диамагнетиках (эффект Мейсснера) [20, 21] и приводить к созданию дополнительной подъемной силы.

ВЫВОДЫ

Электроперенос в присутствии принудительного высокополевого электрического воздействия наиболее эффективно осуществляется в биотемплатах, не претерпевших значительной потери гемолимфы. Приложение поперечного перпендикулярного относительно поверхности магнитного поля приводит к значительному увеличению индуцированного потенциала. Наблюдается гистерезис эффекта электропереноса. На поверхности биотемплатов наблюдаются потенциалы отрицательной полярности, распределенные по направлению циркуляции гемолимфы. Топологическая особенность ПНС поверхности крыльев может приводить к появлению слабых электромагнитных полей, приводящих к взаимодействию с магнитным полем Земли.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Создание "антиотражающих" покрытий методом биотемплатного синтеза. 26 февраля 2008. http://www.nanometer.ru/2008/02/26/12040116149384_6146.html
2. А.В. Путилов Разработки ФГУП ВНИИИМ в области нанотехнологий и наноматериалов для атомной отрасли // Российские нанотехнологии. -2007. -Т.2, № 9-10. -С. 6-11.
3. Востоков Н.В., Волгунов Д.Г., Дряхлушин В.Ф. и др. Создание наноразмерных элементов методами атомно-силовой литографии. – В кн. "СВЧ техника и телекоммуникационные технологии". Севастополь: Вебер, 1999, с.57-60.
4. Superconducting quantum interference devices and their applications. Biomagnetism. V.2. Berlin-NewYork. 1980, 632 p.
5. Э. Хадорн, Р. Венер. Общая зоология. М.:Мир,1989.-523 с.
6. M.M. Walker, C.E. Diebel, C.V. Hough, P.M. Pankhurst, J.C. Monthomery, C.R. Green. Structure and function of the vertebrate vagnetic sense//Nature.v.390.27 Nov.-1997.-P.371-376.
7. Н. Ашкрофт, Н. Мермин. Физика твердого тела. М.:Мир, 1979.-Т.2.-422с.
8. В.Г. Кириченко В.Г. А.С.СССР. №1567946, 1990.5 с.А1. МКИ G 01 N 24/00.Приоритет 01.07.88г.Заявл.1.02.90г.
9. А.Р. Хиппель. Диэлектрики и волны. М.:ИИЛ.-1960.-388с.
10. И.И.Абрамов, А.Л.Данилюк. Влияние электронных свойств поверхности раздела на вольт-амперную характеристику контакта плазма-полупроводник//Поверхность.1987.№ 7. С.62-70.
11. Туннельные явления в твердых телах / Под. ред. Э.Бурштейна и С.Лундквиста.М : «Мир». – 1973.-429стр.
12. Э.В.Мюллер, Т.Т. Цонг, Полевая ионная микроскопия.М.: «Наука», 1980.-224стр.
13. Е.Л.Вольф. Принцип электронной туннельной спектроскопии. Киев.: «Наукова думка», 1990.-455стр.
14. Дж. Шриффер. Теория сверхпроводимости. Наука.:М., 1970.-312 с.
15. Слабая сверхпроводимость. Под ред. Б. Шварца и С Фокера. М.:Мир, 1980. 274 с.
16. R. McNeil Alexander. Smokescreen lifted on insect flight//Nature.V.384.19Dec.1996.-P.609.
17. J.G. Kingsolver. Butterfly: Engeneer's / Science.1985.- /#10.P.62-70.
18. T. Llecut, W.J. Brook, M.Calleja, H. Sun, S.M. cohen. Two distinct mechanisms for long-range patterning by Decapentalegic in the Drosophila wing//Nature.V.381.30 may/-1996/-P.387-393.
19. K. Robbie, V.J. Brett, A. Lakthakia. Chiral sculptures thin films// Nature.V.384.19/26 Dec. 1996. P. 616.
20. Способ захоронения радиоактивных отходов в космосе./Ткаченко Вл.И., Ткаченко В.И., Кириченко В.Г., Брыжинский Ю.И. - Патент РФ, №2022380. Зарегистрировано в Госреестре изобретений 3.-11.94. -12с.
21. V.G. Kirichenko, V.I. Tkachenko, T.A. Kovalenko, P.L. Rudenko. The investigation of interaction of superconducting objects with low magnetic fields // Вісник Харківського національного університету імені В.Н. Каразіна, №.859. - Сер. фізична "Ядра, частинки, поля". – 2009. - Вип. 2/42/. - С. 21 –26.